



MONOGRAFÍA DE BIOLOGÍA

Convocatoria: Noviembre 2019

*Bacillariophyceae (Diatomea) como indicador biológico
y su relación con la calidad del agua del Río Reque*

¿Cuál es la relación entre la presencia del indicador biológico
Bacillariophyceae (Diatomea) y la calidad del agua del Río Reque?

N.º de palabras: 3887

Índice

1. Introducción	1
2. Capítulo I – Marco teórico	3
2.1 <i>Bacillariophyceae</i> (Diatomea)	3
2.2 Calidad biológica del agua	4
2.3 Índice de Shannon-Wiener	6
2.4 Río Reque	8
3. Capítulo II – Metodología de la investigación	9
3.1 Pregunta de investigación	9
3.2 Hipótesis	9
3.3 Objetivo	9
3.4 Variables	9
3.5 Materiales y método	10
3.5.1 Localización del proyecto	10
3.5.2 Materiales y equipos	11
3.5.3 Método para el muestreo	11
3.6 Procedimiento	12
4. Capítulo III – Datos obtenidos y análisis de resultados	13
4.1 Datos brutos	13
4.2 Datos procesados	16
5. Capítulo IV – Conclusiones y mejoras	24
5.1 Conclusiones	24
5.2 Recomendaciones y mejoras	25
6. Bibliografía y referencias	26
7. Ilustraciones	29

1. Introducción

Más del 80% de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo se descargan sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y zonas costeras cada año (UNESCO, 2017); esto, sumado con el vertimiento de residuos sólidos por nuestra parte. A largo plazo, esta contaminación afecta no solo a los múltiples organismos que habitan los ecosistemas acuáticos, sino también a nosotros los humanos, que obtenemos la mayoría de recursos de las aguas tanto marinas como continentales. La degradación continua de las aguas está llevando a la tierra a un estado irreversible, donde la contaminación predominará por sobre toda la diversidad biológica (ONU, 2019). Muchas veces, no somos conscientes de la calidad ambiental de las aguas, debido a la carencia de estudios y métodos que la indiquen.

Es por ello que, tomé la iniciativa de establecer la relación entre el indicador biológico Diatomea (*Bacillariophyceae*), y la calidad del agua del Río Reque, uno de los más importantes de la región Lambayeque, con el fin de determinar el grado de contaminación en el que se encuentra, y la presencia de las diatomeas como indicadores biológicos, mediante el planteamiento de una interrogante: ¿Cuál es la relación entre la presencia del indicador biológico *Bacillariophyceae* (Diatomea) y la calidad del agua del Río Reque?

Logré comprobar mi hipótesis y establecer una relación, aplicando el Índice de Shannon-Wiener, utilizando los datos obtenidos a partir del conteo de diatomeas en cada una de las 05 muestras. Además, para determinar la calidad del agua, medí parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, el

oxígeno disuelto y la temperatura, que posteriormente fueron relacionados con la cantidad de diatomeas presentes en cada muestra.

Las 05 muestras presentaron una contaminación moderada, y la presencia de especies como *Coconneis* *Pediculus* y *Synedra ulna* indicaron eficazmente que la calidad del agua no es buena. Asimismo, las medidas de los parámetros ambientales del agua, las cuales se encontraban fuera de los valores normales, indicaron que el río no se encontraba en óptimas condiciones. Establecí una relación proporcional entre el indicador biológico y la calidad, pues, a mayor cantidad de diatomeas, se registró un mayor grado de contaminación, y, por consiguiente, una calidad biológica baja.

2. Capítulo I – Marco teórico

2.1 *Bacillariophyceae* (Diatomea)

Las Diatomeas o en el griego διατέμνειν (“cortado a la mitad”), son un grupo de algas microscópicas que comúnmente se encuentran en las aguas continentales como ríos y lagos, e incluso en océanos, la tierra, sobre plantas como los musgos o en la corteza de los árboles. Están conformadas principalmente por un rafe (línea en el medio) y un nódulo central, y se pueden encontrar tanto de forma unicelular como en colonias; clasificándose en bentónicas o planctónicas, según su posición en un cuerpo de agua, ya sea en la superficie o en la profundidad, además de su capacidad para moverse y flotar en ella (Romero, 2012:2). Las diatomeas son el género más numeroso del fitobentos y fitoplancton, y producen hasta el 40% del oxígeno del planeta. Además de contribuir a la fijación de carbono atmosférico y de ser la base para la cadena trófica, son excelentes bioindicadores de la calidad del agua (Biosfera, 2013:4). Esto debido a que son de vida sésil, lo que les permite mantenerse en lugares contaminados, especialmente por la acción humana (antropogénicamente); así, el grado de tolerancia que tienen algunas especies permite inferir o asociar niveles de polución, basado únicamente en la estructura comunitaria (Gualtero-Leal, 2007).

Asimismo, presentan una amplia diversidad y características de sensibilidad a los cambios físico-químicos del agua, es por eso que, mediante la presencia de diatomeas tolerantes a la contaminación, como *Coconeis pediculus* o *Melosira varians*, es que se puede medir la calidad biológica de las aguas continentales, estableciendo una relación que indica que, a mayor

cantidad de diatomeas, mayor será el grado de polución, debido a que este tipo de microalgas se reproducen y sobreviven en mayor cantidad en un ambiente de contaminación antrópica, y las no tolerantes a estas condiciones extremas, mueren y desaparecen (Stevenson & Pan, 1999).

2.2 Calidad biológica del agua

Actualmente, la mayoría de aguas, tanto continentales como marinas, se encuentran contaminadas antrópicamente, es decir, por acción humana. Esto incluye vertimiento de desechos sólidos, derramamiento de sustancias químicas provenientes de las fábricas, derrames de petróleo, de detergentes, y muchos otros residuos. Estos agentes polucionantes causan el aumento de la concentración de nutrientes en el agua, como Nitrógeno y Fósforo. Este aumento provoca un crecimiento deliberado de la biomasa y un empobrecimiento en la diversidad de la comunidad fitobentónica; el fenómeno se conoce como eutrofización, que tiene como consecuencia múltiples dificultades en el tratamiento y en la desinfección del agua, por la producción de trihalometanos y otras sustancias químicas que alteran el sabor y el olor del agua tratada (BVSDE, 2005: 11). A largo plazo, la reproducción descontrolada de estos organismos, provoca la falta de oxígeno en los ríos y lagos, y posteriormente, la muerte de la biodiversidad en los ecosistemas acuáticos (Izurieta, 2014: 4).

La calidad biológica del agua no solo se indica a través del crecimiento o aumento de la biomasa por medio de las microalgas como las diatomeas, sino también está ligada a los distintos parámetros de la misma, como el pH, la salinidad, la temperatura, la conductividad eléctrica, la transparencia del agua, la intensidad de la luz, la presencia de gases como el gas carbónico, los

minerales, elementos tóxicos como los metales, u otros. De hecho, estos tienen una relación directa con los bioindicadores, pues, la alteración de un ecosistema acuático por contaminación, hará que las medidas de estos parámetros varíen de forma distinta, reflejando así la actividad humana. Es así como las microalgas, responden a estas alteraciones, encontrándose presentes en otras plantas, denominadas epifíticas, en los sedimentos, denominadas epipélicas, o sobre las piedras, llamadas epilíticas (Round, 1981).

Dentro de los parámetros para indicar la calidad del agua, encontramos el pH: los contaminantes del agua aumentan el crecimiento de algas y plantas, lo que ocasiona que los niveles de pH se eleven. Este aumento produce que la solubilidad de nutrientes se eleve, como el Fósforo, haciendo que esté más disponible para el crecimiento de las plantas y resultando en una demanda mayor de oxígeno disuelto a largo plazo (Mercola, 2019: 12). Así, los valores normales del oxígeno disuelto oscilan entre 7,0 mg/L y 8,0 mg/L, y depende de la reoxigenación atmosférica, la respiración animal y vegetal, la demanda béntica, la demanda bioquímica y otros factores (Roldán, 2003). La conductividad eléctrica refleja la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua, y proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica, contribuyendo a detectar fuentes de contaminación (Faña, 2002). Por último, una temperatura más alta, provoca el aumento de las algas en el agua, las cuales utilizarán el oxígeno presente para sobrevivir, dejando a los demás seres vivos sin este recurso. Así, una temperatura alta es reflejo de una contaminación potencial en el agua (Efeverde, 2016).

2.3 Índice de Shannon-Wiener

Existen múltiples maneras de utilizar un indicador biológico específico para medir el grado de contaminación de las aguas, así como también su calidad ambiental. Por ejemplo, el más usado es el índice biótico: una herramienta utilizada para determinar la calidad del agua de los ríos, lagos, canales, y otras corrientes de agua dulce, por medio de bioindicadores, los cuales en su mayoría son macroinvertebrados, microinvertebrados, y microalgas. Ellos, ayudarán a evaluar cuantitativamente el estado de un ecosistema y cómo se ha desarrollado a lo largo del tiempo, considerando cambios como perturbaciones antropogénicas. Sin embargo, los bioindicadores deben cumplir una serie de requisitos, por ejemplo, el tener una reacción representativa de toda su especie, responder a las anomalías que suceden en el ecosistema, ser fáciles de detectar y poseer poca movilidad, entre otras características. Trabajar con comunidades grandes y variadas, resulta más óptimo, pues permite abarcar más posibilidades y reacciones en cuanto al ambiente (Lobato, 2015: 1). Sin embargo, al trabajar con diatomeas, se necesita un índice específico, para relacionar su presencia en cuanto a cantidad directamente con el grado de contaminación del agua. El índice de Shannon-Wiener o Shannon-Weaver toma estas dos variables, y las relaciona directamente.

El índice de Shannon-Wiener determina la perturbación de las zonas de muestreo mediante el número de especies, así como el número de individuos de cada especie en un determinado lugar. Este índice de diversidad considera que todas las especies en una muestra aleatoria de una población infinita están representadas en dicha muestra (Calizaya-Anco J et al., 2013: 11). La

contaminación en un río se mide a través de la unidad “bits-cél⁻¹”: número de individuos en una muestra.

La fórmula empleada para este índice es la siguiente:

$$H' = -\sum p_i (\log n \cdot p_i)$$

En donde:

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i), que se halla de la siguiente manera:

$$p_i = n_i / N$$

n_i = número de individuos por especie.

N = número total de individuos en la muestra.

$\ln p_i$ = logaritmo natural de la abundancia relativa.

La escala establecida por Lobo & Kobayasi (1990) para medir el grado de contaminación es la siguiente:

Número de individuos por muestra	Grado de contaminación
0-1 bits-cél ⁻¹	Contaminación severa
1-2 bits-cél ⁻¹	Contaminación moderada
2-3 bits-cél ⁻¹	Contaminación leve
3-4 bits cél ⁻¹	Contaminación imperceptible

2.4 Río Reque

El Río Reque es una de los tres cursos en los cuales se divide el Río Chancay, ubicado entre los 6° 20' y 6° 56' de latitud Sur, y 78° 38' y 80° 00' de longitud Oeste. Tiene una longitud de aproximadamente 71.80 km, desde el Partidor La Puntilla hasta su desembocadura en el mar. Este surgió siendo un colector de los excedentes de agua de drenaje de las aguas del río Chancay; no obstante, en la actualidad, su importancia radica en que forma un ecosistema, es drenaje natural del valle, contenedor del agua en épocas de lluvia, regulador del clima, y es utilizado por la población para lavar su ropa, o incluso, para asearse y recrearse. También se emplea su agua para el riego en la agricultura, en alimentos como el maíz, el arroz, o los frejoles (Historia Ciencia de Vida, 2017: 1).

3. Capítulo II – Metodología de la investigación

3.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación entre la presencia del indicador biológico *Bacillariophyceae* (Diatomea) y la calidad del agua del Río Reque?

3.2 Hipótesis

La relación entre el indicador biológico y la calidad del agua del Río Reque será proporcional, pues, a mayor presencia de diatomeas, mayor será el grado de contaminación; y el río se encontrará en una “Contaminación moderada” (de 1-2 bits-cél⁻¹).

3.3 Objetivo

Establecer la relación entre el bioindicador *Bacillariophyceae* (Diatomea) y la calidad biológica del agua del Río Reque

3.4 Variables

Independiente

Indicador biológico *Bacillariophyceae* (Diatomea)

Dependiente

Calidad biológica del agua del Río Reque (medida a través de los parámetros físico-químicos)

Al ser una investigación descriptiva, no se incluyen variables controladas. Las medidas de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura son parte de los parámetros ambientales, ubicados en la variable dependiente.

3.5 Materiales y método

3.5.1 Localización del proyecto



Ilustración 1. Localización de la investigación.

Fuente: https://www.google.com/search?q=rio+requena&npsic=0&rllfq=1&rlha=0&rllag=-6854182,-79825993,0&tbn=lcl&ved=2ahUKEwivjLWp5-niAhUQ2VvKHT5OBoYQtgN6BAGKEAQ&tbs=lr:1,lf:1,lf_ui:1&rldoc=1#rldoc=1&rllf=hd:;si:;mv:1m2!1d-6.807190352329843!2d-79.71425069590043!2m2!1d-6.900929356755784!2d-79.87664235849809!4m2!1d-6.854062158805667!2d-79.79544652719926!5i13

Se trabajará con 5 puntos de muestreo:

Puntos	Coordenadas
01	6° 51'14" S 79°49'30" O
02	6° 51'14" S 79°49'26" O
03	6° 51'15" S 79°49'23" O
04	6° 51'15" S 79°49'25" O
05	6° 51'13" S 79°49'29" O

3.5.2 Materiales y equipos

Materiales	Incertidumbre
Sensor de pH marca Vernier	$\pm 0,2$ pH
Sensor de temperatura marca Vernier	$\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
Sensor de Oxígeno disuelto marca Vernier	$\pm 0,2$ mg/L
Sensor de conductividad eléctrica marca Vernier	$\pm 0,2$ mg/L
Cooler de plástico	-
Microscopio óptico marca Leica modelo DM500	-
Cinco láminas portaobjetos	-
Cinco láminas cubreobjetos	-
Cinco envases de plástico	-
Cepillo	-
Palillos de madera	-
Guantes quirúrgicos	-

3.5.3 Método para el muestreo

Se tomaron 5 muestras de 5 puntos de muestreo a lo largo del segmento de 10 m de longitud, mediante el raspado de piedras en zonas sumergidas en el punto escogido con un tamaño de 10 x 10 cm, y la recolección de 50 ml de agua, con una posterior homogeneización y espera para la separación de materia sólida y líquida en el agua (Cambra, Ector y Sabater, 2005: 16).

Se utilizará este método pues se adecúa a las posibilidades del trabajo y de la disponibilidad de materiales, además, se encuentra certificado por el Ministerio del Medio Ambiente de España (MINAM, 2015), como eficaz para la recolección de diatomeas.

Se escogió trabajar con el Índice Shannon-Wiener pues, utiliza los datos de una población y su abundancia relativa, para determinar la calidad de las aguas continentales. Resulta pertinente en el caso de las diatomeas, sabiendo que su presencia es directamente proporcional con el grado de contaminación que poseen.

3.6 Procedimiento

Primero, se identificaron los puntos de muestreo, y en cada uno, se recogió 50 ml de agua del río conjuntamente con materia raspada de una roca ubicada en el mismo punto, tomando en cuenta la bioseguridad mediante el uso de guantes.

Todas las muestras se depositaron en frascos de plástico y el procedimiento se repitió con cada uno de los puntos: se obtuvieron 5 muestras con 50 ml de agua del río y materia que recubría las rocas; cada una se homogeneizó y se dejó reposar.

Posteriormente, se hizo la medición de parámetros ambientales de cada una de las muestras, tomando el nivel de pH, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica, con ayuda de los sensores y medidores respectivos. Cada parámetro se midió en un periodo de 1 minuto,

tomándose 1 dato cada 5 segundos: se tomaron 12 datos para cada uno, que finalmente se promediaron para obtener un dato general.

Para la observación de diatomeas, se tomó una gota de cada muestra, que se colocó en una lámina portaobjetos y se cubrió con una lámina cubreobjetos.

Se realizó la observación microscópica con el objetivo de 40x y se observaron 10 campos visuales por muestra haciendo movimientos horizontales y verticales con la ruleta de movimiento de la platina, y en cada uno, se identificaron y cuantificaron las diatomeas presentes clasificándolas de acuerdo a su especie.

Para la clasificación se tomó en cuenta la estructura de cada especie de Diatomea, incluyendo su forma externa, su rafe y su nódulo central. Con ayuda del Atlas de Diatomeas, se compararon las imágenes con las presentes en los campos visuales, y a partir de ello, se contaron.

4. Capítulo III – Datos obtenidos y análisis de resultados

4.1 Datos brutos

Tabla 1. Valores de los parámetros ambientales en las estaciones de muestreo.

	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica (mg/L)	Temperatura (°C)
Punto n°01	7,73	6,0	1131	19,5
Punto n°02	8,11	5,7	1133	19,5
Punto n°03	7,18	5,6	1130	19,5
Punto n°04	7,47	5,8	1132	19,5
Punto n°05	7,35	5,8	1131	19,5

Fuente: elaboración propia

Con ayuda de los medidores, se tomó el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y la temperatura de cada muestra. Los datos mostrados son resultado del cálculo de un promedio a partir de 12 datos tomados para cada muestra.

Tabla 2. Conteo de diatomeas presentes en la muestra n° 01.

		Punto n° 01										
		Campo visual										
n° de diatomeas	Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
	<i>Coconneis pediculus</i>	0	9	6	7	7	6	2	2	7	0	46
	<i>Cymbella prostata</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Diatoma hiemale</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
	<i>Fragilaria vaucheria</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	<i>Synedra ulna</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Surirella angustata</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	Total	0	10	7	9	8	7	3	5	8	3	60

Fuente: elaboración propia

Se tomaron 10 campos visuales por muestra, y en cada uno se realizó el conteo de las diatomeas presentes. Luego se calculó el total de diatomeas por campo para encontrar el total de diatomeas en la muestra.

Tabla 3. Conteo de diatomeas presentes en la muestra n° 02

Punto n° 02												
n° de diatomeas	Campo visual											Total
	Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	<i>Coconneis pediculus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	
	<i>Cymbella prostata</i>	0	0	0	0	0		0	0	0	1	
	<i>Diatoma hiemale</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Fragilaria vaucheria</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Frustulia rhomboides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	<i>Melosira varians</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
	<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0	0	0	1	0	1	2	1	1	
	<i>Nitzschia acicularis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	<i>Nitzschia angustata</i>	0	0	0	0	1	3	0	0	0	1	
	<i>Synedra ulna</i>	2	0	2	1	2	3	1	0	1	4	

Fuente: elaboración propia

Conteo de diatomeas presentes en cada campo visual y en total de la muestra.

Tabla 4. Conteo de diatomeas presentes en la muestra n° 03

Punto n° 03											
n° de diatomeas	Campo visual										Total
	Género	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz	0	0	0	0		0	0	0	0	1
	<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	<i>Cymbella prostata</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Diatoma hiemale</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Fragilaria vaucheria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0
	<i>Melosira granulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Navicula cryptocephala</i>	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
	<i>Nitzschia angustata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Synedra ulna</i>	0	2	0	0	0	0	1	2	2	0
	Total	2	3	2	1	2	3	2	2	3	3

Fuente: elaboración propia

Conteo de diatomeas presentes en cada campo visual y en total de la muestra.

Tabla 5. Conteo de diatomeas presentes en la muestra n° 04

Punto n° 04											
n° de diatomeas	Campo visual										Total
	Género	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<i>Coconeis pediculus</i>	0	0	0	0	2	4	5	6	3	3
	<i>Cyclotella comta</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Cymbella prostata</i>	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0
	<i>Denticula subtilis</i> Kützing	0	0	1	0	2	0	0	0	2	0
	<i>Diatoma hiemale</i>	0	3	0	0	0	0	1	3	0	0
	<i>Diatoma vulgare</i>	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
	<i>Fragilaria vaucheria</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
	<i>Frustulia rhomboides</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Melosira varians</i>	5	9	2	0	0	1	4	3	5	0
	<i>Navicula cryptocephala</i>	1	1	3	0	0	1	0	3	0	0
	<i>Nitzschia angustata</i>	1	2	0	0	1	1	5	0	0	2
	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Synedra ulna</i>	8	0	7	3	3	2	4	3	4	4
	Total	17	17	14	3	9	10	26	23	15	11

Fuente: elaboración propia

Conteo de diatomeas presentes en cada campo visual y en total de la muestra.

Tabla 6. Conteo de diatomeas presentes en la muestra n° 05

Punto n° 05											
n° de diatomeas	Género	Campo visual									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Total
	<i>Coconneis pediculus</i>	0	5	3	3	2	0	0	2	0	4 19
	<i>Cyclotella comta</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	<i>Cymbella prostata</i>	1	2	0	0	0	1	0	0	2	1 7
	<i>Diatoma hiemale</i>	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2 5
	<i>Diatoma vulgare</i>	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0 3
	<i>Fragilaria vaucheria</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0 2
	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0 2
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 1
	<i>Melosira granulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0 1
	<i>Melosira varians</i>	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0 4
	<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1 4
	<i>Nitzschia angustata</i>	0	3	0	1	1	0	0	0	0	1 6
	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0 1
	<i>Synedra ulna</i>	0	3	3	1	1	0	0	0	0	4 12
	<i>Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0 1
	<i>Surirella angustata</i>	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0 5
	Total	2	22	6	8	7	3	2	6	4	14 74

Fuente: elaboración propia

Conteo de diatomeas presentes en cada campo visual y en total de la muestra.

4.2 Datos procesados

Tabla 7. Determinación del índice biótico de la muestra n° 01

Punto n° 01				
Especie	Cantidad	$pi=ni/N$	log natural de pi	$pi \times (\log \text{ natural de } pi)$
<i>Coconneis pediculus</i>	46	0.766666667	-0.265703166	-0.20370576
<i>Cymbella prostata</i>	1	0.016666667	-4.094344562	-0.068239076
<i>Diatoma vulgare</i>	3	0.05	-2.995732274	-0.149786614
<i>Fragilaria vaucheria</i>	2	0.033333333	-3.401197382	-0.113373246
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	2	0.033333333	-3.401197382	-0.113373246
<i>Hantzschia amphioxys</i>	2	0.033333333	-3.401197382	-0.113373246
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	1	0.016666667	-4.094344562	-0.068239076
<i>Synedra ulna</i>	1	0.016666667	-4.094344562	-0.068239076
<i>Surirella angustata</i>	2	0.033333333	-3.401197382	-0.113373246
Total	60			-1.011702586

Fuente: elaboración propia

Se calculó la proporción de individuos respecto al total, dividiendo cada cantidad de diatomeas por especie sobre el total de diatomeas. Luego, se calculó el logaritmo natural de cada uno de los resultados, para posteriormente multiplicarlo de nuevo por pi. Todos los resultados fueron sumados en total para el último paso.

Se reemplazan los datos en la fórmula del índice Shannon-Wiener:

$$H' = -\sum p_i (\log n \cdot p_i)$$

$$H' = -(1.011702586) = 1.011702586 \approx 1$$

De acuerdo con la escala para medir el grado de contaminación, el agua del punto n° 01, se encuentra en una contaminación moderada (de 0-1 bits-cél⁻¹).

Esta muestra registró un pH de 7,73, el segundo más alto de todos los obtenidos. Esto significa que el pH es alcalino. Un incremento de contaminación produce que los niveles de pH del agua se eleven, y con ellos, los nutrientes que posee el río. Entonces, a un mayor pH, habrá una mayor concentración y solubilidad de nutrientes como el Fósforo, incrementándose así el número de algas presentes, en este caso, las diatomeas (Mercola, 2019: 12). Asimismo, el Oxígeno disuelto es de 6,0 mg/L, el cual se encuentra por debajo de los parámetros óptimos para una buena calidad del agua (Roldán, 2003). La conductividad eléctrica es de 1131 mg/L, la cual, al ser proporcional con la cantidad de sólidos disueltos, es bastante alta. Por último, la temperatura del agua es de 19,5°C, lo cual indica que existe una contaminación potencial por su alto grado (Faña, 2002). *Coconneis pediculus* es considerada una especie tolerante a la contaminación acuática y puede ser encontrada en un rango amplio de ecosistemas, lo que explica su abundancia en esta muestra (Patrick & Raimer, 1966), situada en el penúltimo grado de contaminación: este punto del río se encuentra en malas condiciones. Al haberse registrado 60 diatomeas, se puede decir que, a mayor cantidad de estas, mayor será el grado de contaminación. Así, los parámetros obtenidos, se relacionan directamente con

el indicador biológico, ya que ambas partes aseguran la contaminación moderada de este punto del río.

Tabla 8. Determinación del índice biótico de la muestra n° 02

Punto n° 02				
Especie	Cantidad	pi=ni/N	log natural de pi	pi x (log natural de pi)
<i>Coconneis pediculus</i>	9	0.195652174	-1.631416819	-0.319190247
<i>Cymbella prostata</i>	1	0.02173913	-3.828641396	-0.083231335
<i>Diatomea hiemale</i>	2	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Fragilaria vaucheria</i>	1	0.02173913	-3.828641396	-0.083231335
<i>Frustulia rhomboides</i>	1	0.02173913	-3.828641396	-0.083231335
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	1	0.02173913	-3.828641396	-0.083231335
<i>Hantzschia amphioxys</i>	1	0.02173913	-3.828641396	-0.083231335
<i>Melosira varians</i>	2	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Navicula cryptocephala</i>	6	0.130434783	-2.036881927	-0.265680251
<i>Nitzschia acicularis</i>	1	0.02173913	-3.828641396	-0.083231335
<i>Nitzschia angustata</i>	5	0.108695652	-2.219203484	-0.24121777
<i>Synedra ulna</i>	16	0.347826087	-1.056052674	-0.367322669
Total	46			-1.965450617

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la fórmula del Índice de Shannon-Wiener.

$$H' = -(1.965450617) = 1.965450617 \approx 2$$

Contaminación moderada (de 1-2 bits-cél⁻¹)

Esta muestra registró un pH de 8,11, lo cual es alcalino: a mayor concentración de minerales alcalinos eleva los iones OH (Hidróxilos), resultando un agua más rica en oxígeno (Infante, 2016: 2). Sin embargo, aún con un aumento de iones, la medida de Oxígeno disuelto, con 5,7 mg/L, se encuentra por debajo de los parámetros normales. La conductividad eléctrica es de 1133 mg/L, la mayor registrada, e indica que existe una alta cantidad de sólidos disueltos. La

temperatura, de 19,5°C, se repite en todas las muestras. La cantidad de diatomeas encontradas (46) no difiere en una cantidad significativa al total encontrado en la anterior muestra, razón por la cual se encuentran en el mismo grado de contaminación. *Synedra ulna* es la microalga encontrada en mayor cantidad, pues esta especie es muy común en aguas bentónicas, siendo tolerante a la contaminación antrópica (Abellán, 2019: 1).

Tabla 9. Determinación del índice biótico de la muestra n° 03

Punto n° 03				
Especie	Cantidad	pi=ni/N	log natural de pi	pi x (log natural de pi)
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz	1	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	1	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Cymbella prostata</i>	2	0.086956522	-2.442347035	-0.212378003
<i>Diatoma hiemale</i>	1	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Fragilaria vaucheria</i>	1	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	3	0.130434783	-2.036881927	-0.265680251
<i>Melosira granulata</i>	1	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Navicula cryptocephala</i>	5	0.217391304	-1.526056303	-0.33175137
<i>Nitzschia angustata</i>	1	0.043478261	-3.135494216	-0.136325835
<i>Synedra ulna</i>	7	0.304347826	-1.189584067	-0.362047325
Total	23			-1.989811962

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la fórmula del Índice de Shannon-Wiener.

$$H' = -(-1.989811962) = 1.989811962 \approx 2$$

Contaminación moderada (de 1-2 bits-cél⁻¹)

Esta muestra presentó el pH más bajo, con solo 7,18, lo cual indica que se acerca a ser neutral. Esto significa que el agua se encuentra en un estado relativamente bueno. La presencia de oxígeno disuelto es de 5,6 mg/L, un parámetro bastante bajo en términos de calidad. Asimismo, la conductividad eléctrica es de 1130 mg/L, la más baja registrada, que indica escasa presencia de sólidos disueltos en el agua. Esta muestra presentó el menor número de diatomeas, con solo 23 individuos. *Synedra ulna* reaparece, y casi el mismo número de esta, es el de *Navicula cryptocephala*. Esta especie abunda en aguas salobres (aquella que tiene más sales disueltas que el agua dulce) y ricas en electrolitos (Valenzuela, 2010). Los parámetros del agua y el indicador biológico se relacionan, pues a menor contaminación, existe una menor presencia de diatomeas.

Tabla 10. Determinación del índice biótico de la muestra n° 04

Punto n° 04				
Especie	Cantidad	$\pi_i = n_i/N$	log natural de π_i	$\pi_i \times (\log \text{ natural de } \pi_i)$
<i>Cocconeis pediculus</i>	23	0.15862069	-1.841239526	-0.292058684
<i>Cyclotella comta</i>	2	0.013793103	-4.283586562	-0.059083953
<i>Cyclotella ocellata</i>	1	0.006896552	-4.976733742	-0.034322302
<i>Pantocsek</i>				
<i>Cymbella prostata</i>	6	0.04137931	-3.184974273	-0.131792039
<i>Denticula subtilis</i>	5	0.034482759	-3.36729583	-0.116113649
<i>Kützing</i>				
<i>Diatoma hiemale</i>	7	0.048275862	-3.030823593	-0.146315622
<i>Diatoma vulgare</i>	3	0.020689655	-3.878121454	-0.080236996
<i>Fragilaria vaucheria</i>	3	0.020689655	-3.878121454	-0.080236996
<i>Frustulia rhomboides</i>	1	0.006896552	-4.976733742	-0.034322302
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	4	0.027586207	-3.590439381	-0.099046604
<i>Hantzschia amphioxys</i>	1	0.006896552	-4.976733742	-0.034322302
<i>Melosira varians</i>	29	0.2	-1.609437912	-0.321887582
<i>Navicula cryptocephala</i>	9	0.062068966	-2.779509165	-0.172521259
<i>Nitzschia angustata</i>	12	0.082758621	-2.491827093	-0.206220173

<i>Nitzschia sigmoidea</i>	1	0.006896552	-4.976733742	-0.034322302
<i>Synedra ulna</i>	38	0.262068966	-1.339147583	-0.350949022
Total	145			-2.193751783

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la fórmula del Índice de Shannon-Wiener.

$$H' = -(-2.193751783) = 2.193751783 \approx 2$$

Contaminación moderada (de 1-2 bits-cél⁻¹)

Esta muestra registró un pH de 7,47: bastante cerca de llegar a ser alcalino. La presencia de oxígeno disuelto es de 5,8, que se encuentra por debajo de los parámetros normales; la conductividad eléctrica, es de 1132 mg/L, una de las más altas, indicando una alta presencia de sólidos disueltos en el agua, y la temperatura de 19,5°C también indica una contaminación de por medio. Esta muestra presentó la mayor cantidad de diatomeas tomándose en cuenta las especies abundantes: *Coconneis pediculus* y *Melosira varians*; estas son consideradas microalgas altamente tolerantes a la contaminación, y es por eso que las encontramos en gran cantidad (Potapova, 2009). Así, los indicadores biológicos se relacionan con la calidad del agua, pues que abunde una especie tolerante a la contaminación, significa que este punto de muestreo está más afectado por sucesos antrópicos que los demás.

Tabla 11. Determinación del índice biótico de la muestra n° 05

Especie	Punto n° 05				
	Cantidad	pi=ni/N	log natural de pi	pi x (log natural de pi)	
<i>Coconneis pediculus</i>	19	0.256756757	-1.359626114	-0.349093191	
<i>Cyclotella comta</i>	1	0.013513514	-4.304065093	-0.058163042	
<i>Cymbella prostata</i>	7	0.094594595	-2.358154944	-0.223068711	
<i>Diatoma hiemale</i>	5	0.067567568	-2.694627181	-0.182069404	
<i>Diatoma vulgare</i>	3	0.040540541	-3.205452805	-0.129950789	
<i>Fragilaria vaucheria</i>	2	0.027027027	-3.610917913	-0.097592376	

<i>Gyrosigma attenuatum</i>	2	0.027027027	-3.610917913	-0.097592376
<i>Hantzschia amphioxys</i>	1	0.013513514	-4.304065093	-0.058163042
<i>Melosira granulata</i>	1	0.013513514	-4.304065093	-0.058163042
<i>Melosira varians</i>	4	0.054054054	-2.917770732	-0.157717337
<i>Navicula cryptocephala</i>	4	0.054054054	-2.917770732	-0.157717337
<i>Nitzschia angustata</i>	6	0.081081081	-2.512305624	-0.203700456
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	1	0.013513514	-4.304065093	-0.058163042
<i>Synedra ulna</i>	12	0.162162162	-1.819158443	-0.294998666
<i>Ulnaria ulna (Nitzsch)</i>	1	0.013513514	-4.304065093	-0.058163042
Compère				
<i>Surirella angustata</i>	5	0.067567568	-2.694627181	-0.182069404
Total	74			-2.366385257

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la fórmula del Índice de Shannon-Wiener.

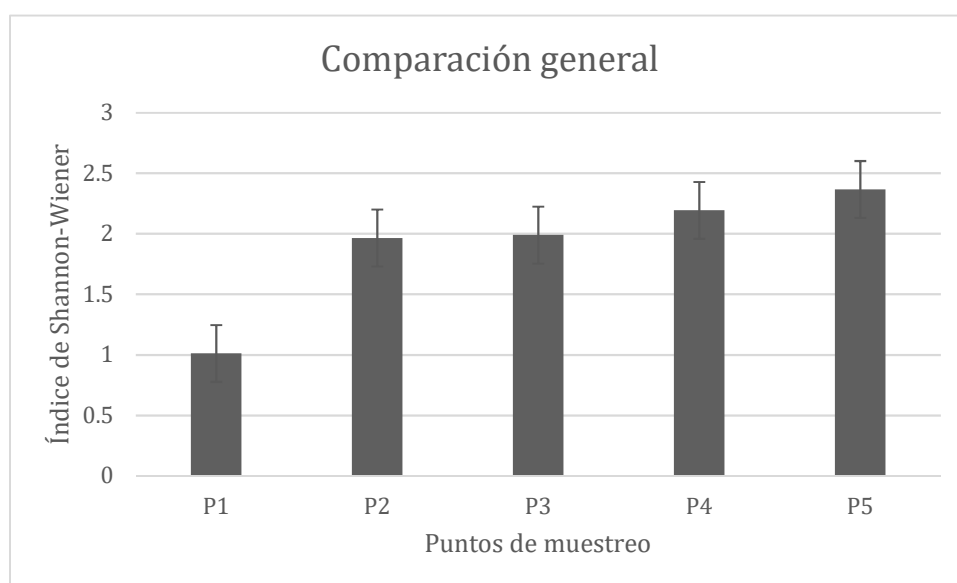
$$H' = -(-2.366385257) = 2.366385257 \approx 2$$

Contaminación moderada (de 1-2 bits-cél⁻¹)

Esta muestra presenta un pH de 7,35, lo que indica que se acerca a un pH neutro, el adecuado para la supervivencia de los organismos presentes en el río. La presencia de oxígeno disuelto es de 5,8 mg/L, que al igual que todas las muestras, se encuentra por debajo de los parámetros normales. La conductividad eléctrica es de 1131 mg/L, indicando una poca cantidad de sólidos disueltos, y la temperatura permanece en 19,5°C. Los parámetros están en el promedio, es por eso que la muestra presenta 74 diatomeas: existe una gran diversidad de especies, y no difiere en una cantidad significativa en comparación de la primera muestra. *Coconneis pediculus* reaparece como la microalga más abundante, confirmando una vez más la hipótesis al ser tolerante a las aguas contaminadas. La relación que se encuentra entre el indicador biológico y la calidad del agua sigue siendo proporcional: mientras más contaminada esté el agua, habrá mayor presencia de diatomeas.

A diferencia del resultado constante de cada muestra, Calizaya, Avendaño y Delgado, obtuvieron otros, parcialmente diferentes: desde PL hasta PP, existió una contaminación severa ($0,24$ a 1 bits-cél^{-1}), resultado obtenido por las características demográficas de los dos primeros puntos; SA hasta YL, contaminación de moderada a leve ($1,09$ a $2,12 \text{ bits}^{-1}$); TA: contaminación leve, y LG, contaminación moderada (mayor de 1 bits-cél^{-1}), resultado que coincide con el cuarto punto de la investigación, indicando una mala calidad del agua y una mayor actividad antrópica: la contaminación aumentó en lo que la cuenca del Río Locumba descendía. A pesar de coincidir en ciertos puntos, su resultado no fue constante, a diferencia del obtenido, con una contaminación moderada en todas las muestras.

Figura 1. Bacillariophyceae como indicador biológico.



Fuente: elaboración propia

Cantidades obtenidas en cada muestra utilizando el índice Shannon-Wiener, y comparación del grado de contaminación.

$$I_1 = \frac{1.011702586 + 1.965450617 + 1.989811962 + 2.193751783 + 2.366385257}{5} = 1.905420441 \approx 2$$

En general, el Río Reque presenta una contaminación moderada (de 1-2 bits-cél⁻¹).

Así también, Guzmán y Leiva, haciendo un estudio del Río Amazonas, obtuvieron 1,981 bits cél⁻¹ en la parte alta, 2,302 bits cél⁻¹ en la parte media y 2, 533 bits cél⁻¹ en la parte baja de la cuenca, indicando una contaminación moderada y leve, contrastándose con los resultados obtenidos. Esta diferencia se debe a los puntos de muestreo, pues para el Río Amazonas se tomó en cuenta una parte alta, media y baja; mientras que, en esta investigación, se consideraron puntos a lo largo del segmento, pero sin una diferencia demográfica marcada.

5. Capítulo IV – Conclusiones y mejoras

5.1 Conclusiones

En conclusión, existe una relación proporcional entre el indicador biológico *Bacillariophyceae* (Diatomea) y la calidad del agua del Río Reque, pues, a mayor cantidad de diatomeas, mayor fue el grado de contaminación de cada uno de los puntos, lo que respalda la hipótesis planteada. Todo esto se sustenta con los resultados al realizar el índice de Shannon-Wiener y al medir los parámetros físico-químicos del agua, resultados que indican que son aguas alcalinas por la cantidad de pH; la presencia de sólidos disueltos por la conductividad eléctrica; la insuficiencia de oxígeno por la cantidad de oxígeno disuelto, que permaneció debajo de los valores normales, y el exceso de temperatura, que permaneció igual en todos los

puntos. Estos datos confirmaron la baja calidad del agua del Río Reque, que se relacionaron directamente con la cantidad de diatomeas presentes en la muestra.

El Índice de Shannon-Wiener permitió llegar a la conclusión de la contaminación moderada ($1-2 \text{ bits-cél}^{-1}$) del Río Reque, resultado que se relaciona con los parámetros físico-químicos obtenidos fuera del rango normal de las muestras de agua. Se observó que, algunas especies de diatomeas tolerantes a la polución como *Coconneis pediculus*, *Synedra ulna* y *Melosira varians* aparecieron en gran cantidad, reafirmando la hipótesis, pues su supervivencia, al ser altamente tolerantes a la polución antrópica, indica que la calidad del agua no está en buenas condiciones.

Cabe resaltar la importancia de esta investigación en términos de ecología y preservación de ecosistemas, pues el Río Reque, una fuente indispensable de agua para muchas familias, no se encuentra en condiciones de ser utilizado para cultivos, lavado de alimentos, e incluso, de estar en contacto con los humanos. Así, se deben tomar acciones que permitan el cuidado de estas aguas continentales a largo plazo.

5.2 Recomendaciones y mejoras

Considero que se pudo tomar una mayor cantidad de muestras para una cantidad de datos más elevada, y, por ende, obtener un mayor grado de comparación, tomando en cuenta el descenso de la cuenca del Río y las posiciones demográficas.

De igual manera, a raíz del tiempo tomado para identificar cada especie de Diatomea y la dificultad que esto suponía, sugiero que fue necesario un

mayor conocimiento de la taxonomía y estructura de cada una de las especies encontradas, y por supuesto, de todas las especies de diatomeas existentes y sus características, para su rápida identificación.

Igualmente, una mejor gestión del tiempo dispuesto para la realización de la investigación, pudo permitir un análisis más profundo, así como un muestreo preciso y correcto, tomando en cuenta las limitaciones temporales que existieron.

También, una mejora que considero es la obtención de mayor cantidad de parámetros físico-químicos, como la salinidad, la densidad y otros, que servirían para mayor precisión en la determinación de la calidad del agua, pues son datos que también incurren es dicho resultado.

6. Bibliografía y referencias

- (2013). Comparación y aplicabilidad de índices bióticos para evaluar calidad de aguas en ambientes lóticos del Parque Nacional Nahuel Huapi. Argentina: UNLP. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34837/Documento_completo____.pdf?sequence=5
- (2016). El aumento de las temperaturas está matando la biodiversidad de ríos y lagos, según un estudio. España: EFE Verde. Recuperado de: <https://www.efeverde.com/noticias/temperaturas-biodiversidad-rios-lagos/>
- Abellán, H. (2016). Diatomea "*Synedra*". España: Mundo microscópico. Recuperado de: <https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Diatomea-Synedra-sp-img3875.html?sessionid=i2c3f770joj57ms3ehtcp0rgk6>
- Calizaya, J.; Avendaño, M.; Delgado, M. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (*Bacillariophyceae*), una experiencia en Tacna, Perú. Perú: Scielo. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342013000100012

- Cambra, J.; Ector, L.; Sabater, S. (2005). Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. España: Confederación hidrográfica del Ebro, URS.
- Crawford, R.M. (1978) The taxonomy and classification of the diatom genus *Melosira* C. A. Agardh. III. *Melosira lineata* (Dillw.) C.A. Ag. and *M. varians* C.A.Ag. Phycologia 17(3): 237-250.
- De Pauw, N. ; Vanhooren, G. (1983). Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. Bélgica. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00027428>
- Grubaugh, C., Potapova, M. (2012). *Cocconeis pediculus*. EE. UU: Diatoms of North America. Recuperado de: https://diatoms.org/species/cocconeis_pediculus
- Guiry, M. (2002). *Navicula cryptocephala* Kützinger. Irlanda: Algae Base. Recuperado de: https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=31737
- Guzmán, K.; Leiva, D. (2015). Uso de diatomeas (*Bacillariophyceae*) como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas - Perú, 2014 - 2015. Perú: Facultad de ingeniería civil y ambiental.
- Hernández, S. (2012). Indicadores biológicos de calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Viejo, utilizando Fitobentos (Diatomeas). Nicaragua: Central americans journals online. Recuperado de: <https://www.camjol.info/index.php/UYC/article/view/1952>
- Hernández, S. (2016). Diatomeas como indicadoras de calidad de agua en la Laguna Acahualinca (Managua, Nicaragua). Nicaragua: Revista científica agua y conocimiento. Recuperado de: <http://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/agua/article/view/2302>
- Mac Donagh, M. (2016). Aplicación de índices bióticos basados en diatomeas epífitas sobre *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) sojak, en lagunas pampeanas de argentina. Argentina: Research gate. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/309673913_aplicacion_de_indices_bioticos_basados_en_diatomeas_epifitas_sobre_schoenoplectus_californicus_ca_meyer_sojak_en_lagunas_pampeanas_de_argentina
- Mercola, J. (2019). La verdad detrás del agua alcalina. Chile: Agua Río cristal. Recuperado de: <http://riocrystal.cl/site/?p=686>
- Peña, E. (2007). Trabajo de investigación oxígeno disuelto. Guayaquil: ESPOL. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

- Pinto, M.; Díaz, C.; Maidana, N.; Frangopulos, M. (2016). Atlas de los géneros de Diatomeas de aguas continentales de la región de Magallanes. Chile: Centro de estudios del cuaternario fuego, Patagonia y Antártica.
- Potapova, M. (2009). *Melosira varians*. EE. UU: Diatoms of North America. Recuperado de: https://diatoms.org/species/melosira_varians
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú / Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología -- Perú: Ministerio del Ambiente.

7. Ilustraciones

Ilustración 2. Observación microscópica de la muestra n° 01



Se aprecia un ejemplar de la especie *Cymbella prostata*. Aumento: 400 x.

Ilustración 3. Observación microscópica de la muestra n° 02.



Se aprecian ejemplares de las especies *Gyrosigma attenuatum* y *Navicula cryptocephala*. Aumento: 400x.

Ilustración 4. Observación microscópica de la muestra n° 03



Se aprecia un ejemplar de la especie *Navicula cryptocephala*. Aumento: 400x.

Ilustración 5. Observación microscópica de la muestra n° 04



Se aprecian ejemplares de la especie *Synedra ulna*. Aumento: 400x.

Ilustración 6. Observación microscópica de la muestra n° 05



Se aprecian ejemplares de la especie *Melosira varians*. Aumento: 400x.